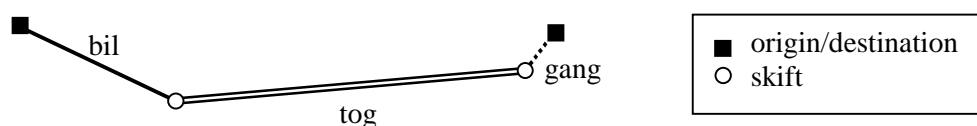


Modellering af multimodale turkæder

Af Camilla Riff Brems

Med stigende trafikmængder og stadig større udnyttelse af trafiknettenes kapaciteter er der i de seneste år kommet fokus på turkæder, hvor forskellige transportmidler benyttes indenfor den samme tur. De mest almindelige turkæder er brug af cykel og gang som tilbringere til forskellige kollektive transportmidler samt brug af bil til samme. Den sidste gruppe ture betegnes ofte park-and-ride eller kiss-and-ride. Alle disse turkæder er baseret på det kollektive trafiksystem men nye tiltag med fælleskørsel i bil, ofte kaldet car pooling, medfører de samme problemstillinger.

En turkæde inkluderer således en række transportmidler i turen fra origin til destination. Figur 1 illustrerer en typisk park-and-ride eller kiss-and-ride turkæde, der inkluderer bil til en station, efterfulgt af tog til en anden station og endelig gang til destinationen. Turkæden indeholder således tre forskellige transportmidler samt to skift, hvoraf det ene indebærer ventetid.



Figur 1 Eksempel på turkæde.

Brugen af flere forskellige transportmidler nødvendiggør skift mellem transportmidler eller mellem linier indenfor samme transportmiddel. Skift er velkendte fra det kollektive trafiksystem, men har først for nylig fået en større rolle i vurderingen af en tur. Hidtil har skift alene været inddraget med tidsforbrug og en eventuel skiftestraf. Med formuleringen i turkæder kan modellerne desuden inddrage elementer af hvilke typer skift, der foretages dvs. mellem hvilke transportmidler samt hvor skiftene foretages, så lokale forhold kan inddrages i modelleringen af valget af skift.

Et eksempel, hvor typen og placeringen af skiftet er afgørende for valget er turkæde, kan være valget mellem bil, cykel og bus som tilbringer til en station. Dette valg kan meget let være bestemt af parkeringsforhold for biler og cykler på stationen. Hvis der eksempelvis ikke er parkeringspladser for biler og samtidig stor risiko for at få stjålet sin cykel er de fleste trafikanter mere tilbøjelige til at vælge bus som tilbringer. Findes der derimod gode og sikre parkeringsforhold for biler og cykler er valget af disse transportmidler mere sandsynligt.

De traditionelle trafikmodeller inddrager for det meste kun hovedtransportmidlet i modal split modellen ligesom skift bestemmes i rutevalgsmodellen alene ud fra korteste tid eller afstand. På denne måde er det hverken muligt at belyse vigtigheden af til- og frabringer transportmidler ligesom det heller ikke er muligt at tage hensyn til parkeringsforhold, som det blev nævnt i eksemplet. De traditionelle trafikmodeller er således på mange områder utilstrækkelige til modellering af turkæder.

Gruppering af modeller for turkæder

Som det ses af ovenstående eksempel er typen og placeringen af skift vigtige elementer i beskrivelsen af turkæderne. Da turkæderne repræsenterer en mere detaljeret modellering end der traditionelt benyttes i trafikmodeller og da der samtidig ikke er lavet mange empiriske analyser af trafikanters valg vedrørende turkæder er der mange ubesvarede spørgsmål i beskrivelsen af valg af turkæder. Det er således ikke særligt belyst, hvordan trafikanter vælger turkæde ligesom det heller ikke er belyst, hvilke faktorer, der er afgørende for valgene.

Nedenfor præsenteres derfor en række forskellige modeltyper, der hver især repræsenterer forskellige antagelser vedrørende valg af turkæde. For i så vid udstrækning som muligt at kunne benytte eksisterende modelprincipper fra trafikmodellerne er det antaget at valgene i forbindelse med valg af turkæde kan opdeles i tre hovedvalg

- valg af transportmiddel
- valg af skiftested
- valg af rute

Med denne opdeling kan der opstilles fire forskellige modeltyper, som det fremgår af figur 2. De to yderste er 'rene' modeller, hvor alle tre valg i formuleringen modelleres indenfor henholdsvis en modal split model og en rutevalgsmodel. De to midterste derimod er 'kombinerede' modeller, hvor valg af transportmiddel og rute modelleres i de respektive modeller og kun modelleringen af valget af skiftested varierer.

modal split model	valg af trmiddel skiftested rute				
		valg af	trmiddel skiftested rute	valg af	trmiddel skiftested rute
rute- valgs model				valg af	trmiddel skiftested rute
				valg af	trmiddel skiftested rute

Figur 2 Model klassifikation, trmiddel er en forkortelse for transportmiddel.

Hver af disse fire modeltyper repræsenterer forskellige antagelser vedrørende valg af turkæde. Disse antagelser afgøres af placeringen af de forskellige valg i henholdsvis modal split model og rutevalgsmodel samt af de principper disse to modeltyper sædvanligvis benytter sig af.

Således bygger de fleste modal split modeller på diskrete valgmodeller, der estimeres på observationer af valg. Da disse modeller estimeres på observationer er de bedst egnede til problemer uden for mange alternativer, så kravene til data ikke bliver for store. Yderligere er de metoder, der normalt bruges til estimation af modellerne udviklet så det er muligt at specificere hvilke alternativer, der er til rådighed for den enkelte trafikant. Dette er afgørende i nogle af de specifikationer, der præsenteres nedenfor.

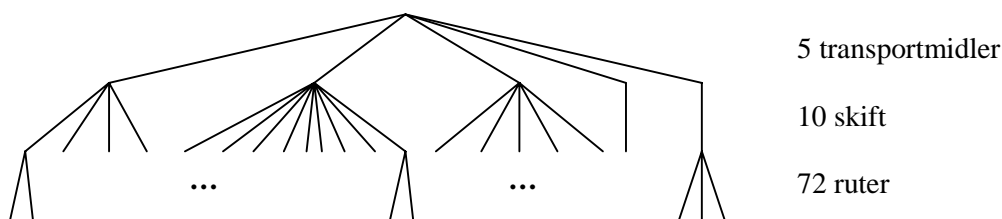
Rutevalgsmodeller derimod bygger normalt på generelle erfaringer vedrørende signifikante variable og størrelsen af tilhørende parametre. Disse modeller er oftest formulerede, så de er velegnede til at behandle valg mellem store mængder af alternativer. Derimod er de færreste rutevalgsmodeller i stand til at på relativ simpel vis at tage hensyn til forskelle i trafikanter holdninger til forskellige alternativer bortset fra, når det kan beskrives ved forskellige i tid, afstand eller omkostninger. Alternativerne i en rutevalgsmodel bør således ikke indeholde afgørende strukturelle forskelle ligesom modellerne for det meste heller ikke er i stand til at opsætte restriktioner i adgangen til forskellige transportmidler for forskellige trafikanter eller grupper af trafikanter.

Modal split model

I modeltypen længst til venstre på figur 2 modelleres alle tre valg i en modal split model. Med en sådan model er det muligt at modellere trafikanters holdninger til alle aspekter af valg af turkæde samt at opstille begrænsninger i adgangen til forskellige kombinationer af transportmidler, så eksempelvis turkæder med bil som tilbringer kun er mulige, hvis trafikanten har adgang til bil.

De afgørende ulemper ved denne modeltype er, at hver enkelt rute med tilhørende transportmidler og skift skal formuleres som et enkelt alternativ i modellen. Selv for meget begrænsede problemer kan dette hurtigt blive en meget kompliceret model, hvor der skal tages hensyn til mange ligheder mellem alternativerne i formuleringen af modal split modellen. Dertil kommer de strenge krav det sætter til

mængden af data at estimere modellen med et rimeligt resultat. For at illustrere omfanget af modellerne indenfor denne modeltype viser figur 3 en skitse af en modal split model for Lyngby – Brønshøj eksemplet (præsenteret i bilaget)



Figur 3. Skitseret form af ren modal split model for Lyngby – Brønshøj eksemplet.

På figuren optræder mere end 10 skift, da nogle skift er mulige for forskellige kombinationer af transportmidler. Antallet af alternativer på det nederste niveau er dog fortsat 72. I hierarkiet er der kun skitseret et niveau for hvert valg, men resultatet af en estimation kan sagtens være, at et eller flere af valgene bør indeholde flere niveauer. Rækkefølgen af niveauerne kan også vise sig at være en anden end den, der er skitseret i figur 3. Igen er det et resultat af en estimationsproces på faktiske data. Da sådanne data ikke har været til rådighed for det brugte eksempel er figuren kun af skitse-mæssig karakter.

På denne baggrund må det konkluderes, at denne modeltype med rene modal split modeller er bedst egnet til begrænsede problemer, hvor der er strukturelle forskelle på alternativerne eller hvor det er afgørende at kunne modellere begrænsninger i adgangen til forskellige alternativer.

Rutevalgsmodel for multimodale trafiknet

I modeltypen længst til højre i figur 2 modelleres alle tre valg i turkæden som en samlet rutevalgsmodel. En sådan formulering kan ses som en videreudvikling af Sheffis supernetværk (Sheffi, 1985) og de forskellige multimodale ligevægtsmodeller, der er opstillet af folk som Florian og Nguyen. Alle disse modeller indrager flere forskellige transportmidler i modelleringen dog skal det bemærkes, at hver tur kun inddrager et enkelt transportmiddel, så modellerne kan ikke direkte overføres til en generel formulering af turkæder.

Et afgørende element i formuleringen af en samlet rutevalgsmodel er, at valgprincippet skal være fælles for både individuelle og kollektive transportmidler. Dette svarer ikke til de antagelser, der normalt gøres i de benyttede rutevalgsmodeller. I de sidstnævnte modeller foretages rutevalg for individuelle transportmidler normalt efter en form for korteste vej algoritme, mens rutevalg for kollektive transportmidler oftest benytter en form for strategi, for at være i stand til at håndtere egenskaberne ved det kollektive trafiksystem.

Et andet afgørende element er nødvendigheden af et multimodalt trafiknet, hvis rutevalgsmodellen skal formuleres som en ligevægtsmodel, som der lægges op til i de fleste præsentationer om emnet. Det er ikke formuleringen af et multimodalt trafiknet i sig selv, der udgør et problem. En konkret formulering af et sådant net er præsenteret i Brems & Kronbak (1996). Derimod udgør omfanget af nettet meget hurtigt et problem. Udover et separat net for hvert transportmiddel skal et multimodalt trafiknet indeholde samtlige mulige skift mellem alle transportmidler.

Hvis rutevalgsmodellen opskrives som en ligevægtsmodel, hvor valg af turkæde foretages alene efter de generaliserede omkostninger foretages valget efter variable, der kan knyttes til de enkelte strækninger. Disse variable er fælles for alle trafikanter og variationer i de tilhørende parametre kan kun ske ved formuleringen af en række forskellige trafikantklasser. Da rutevalgsmodeller yderligere sjældent møder problemer med begrænset adgang til forskellige strækninger for forskellige trafikanter er disse modeller sjældent egnede til at håndtere restriktioner i valget af alternativer. Derfor bør modellerne også kun benyttes, hvis der er basis for at tro, at trafikanter vælger turkæde ud fra nogle

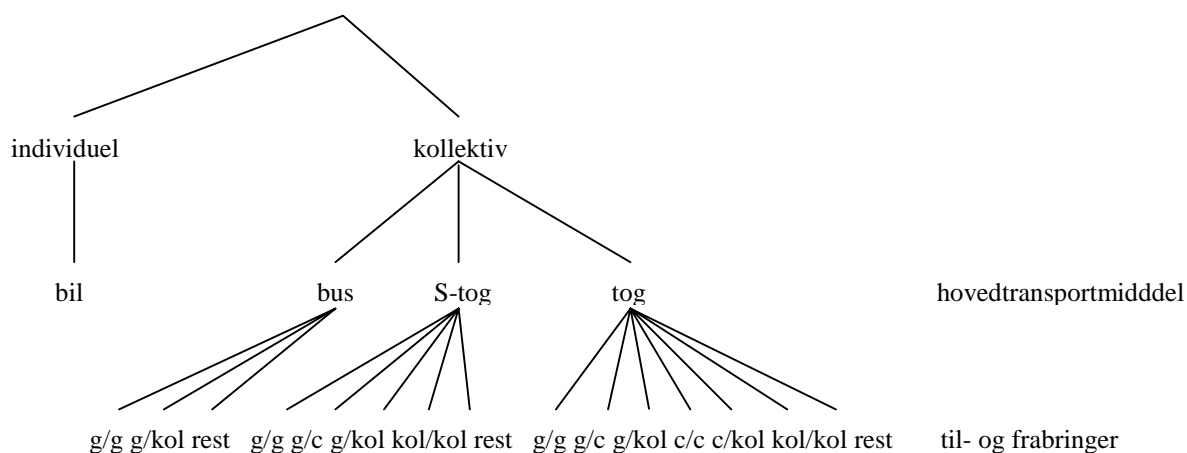
helt generelle principper uden hensyn til særlige egenskaber ved forskellige transportmidler eller skiftsteder. Denne modeltype er således mest relevant for store meget homogene trafiknet.

Udover de hidtil beskrevne ulemper for de to 'rene' modeller lider de under, at de traditionelle valg af transportmiddel og rute ikke begge formuleres indenfor de modeltyper, der er udviklet til de respektive valg. Enten bliver der for mange alternativer eller også er der problemer med at formulere forskelle på alternativerne og restriktioner i adgangen til dem. Disse problemer reduceres i de kombinerede modeller, der præsenteres i de næste to afsnit.

Kombineret model – skift i rutevalgsmodel

I en kombineret model, hvor skift modelleres i rutevalgsmodellen (anden modeltype fra højre i figur 2) antages det implicit, at valg af skift er bedst beskrevet ved de valgprincipper, der ligger til grund for rutevalgsmodellerne. Denne modeltype er således bedst egnet til relativt homogene net, hvor der ikke er signifikante forskelle på skiftene. Yderligere er modeltypen i stand til at håndtere net med mange skift.

Når skiftene modelleres i rutevalgsmodellen har modal split modellen samme form som de traditionelle modal split modeller, dog formuleres alternativerne som kombinationer af transportmidler i stedet for blot som hovedtransportmidler. Dette medfører ofte, at flere af alternativerne kommer til at ligne hinanden endnu mere end det er tilfældet i dag. Derfor er en hierarkisk logit model eller en anden model, der kan håndtere afhængigheder mellem alternativer, et oplagt valg til modal split model indenfor denne modeltype. Hierarkiet kan formes på baggrund af forskellige beskrivende faktorer af kombinationerne af transportmidler. En mulighed er at lade hovedtransportmidlet optræde på et højere niveau i hierarkiet end til- og frabringer transportmidlerne. Dette er den mest udbredte praksis i de modeller, der hidtil er præsenteret indenfor området. En anden mulighed er at benytte antallet af skift eller en anden beskrivende faktor til opdeling af alternativerne. Der skal blot gælde, at den valgte faktor er afgørende for grupperingen af alternativer.



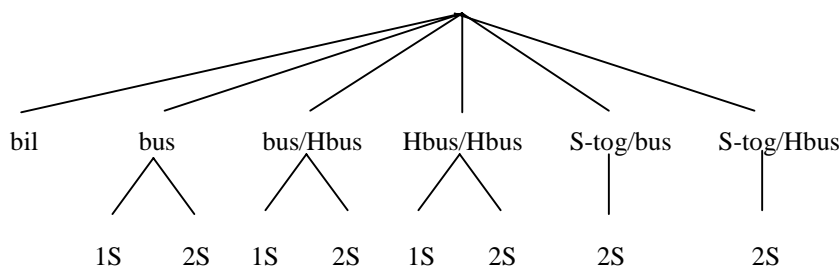
Figur 4 Eksempel på modal split model for København – Ringsted, g er kort for gang, c for cykel og kol for et kollektivt transportmiddel.

I figur 4 er en modal split model for København – Ringsted eksemplet vist. Her er det valgt at opdele modellen efter hovedtransportmiddel, da dette er udgangspunktet i dataindsamlingen og fordi kun hovedtransportmidlet og ikke til- og frabringer transportmidlerne varierer i de indsamlede SP data. Fortolkningen af modellen er, at hovedtransportmidlet repræsenterer så afgørende fællestræk for de forskellige typer af turkæder, at hovedtransportmidlet bør udgøre et eget niveau i modellen. Med denne fortolkning kan nyttefunktionen opskrives som

$$U_{ik,ht,tf} = V_{ik} + V_{ht} + V_{tf} + V_{ik,ht} + V_{ik,tf} + V_{ht,tf} + V_{ik,ht,tf} + \varepsilon_{ik} + \varepsilon_{ik,ht} + \varepsilon_{ik,ht,tf}$$

mens de resterende fejllad $\epsilon_{ht}, \epsilon_{tf}, \epsilon_{ht,tf}$ alle antages at være lig nul. Opskrivningen af nyttefunktionen viser, at det er muligt at inddrage fællestræk ved alternativer på lavere niveauer i hierarkiet i form af den deterministiske nytte, hvorimod det ikke er muligt at inddrage fejllad for disse størrelser. En yderligere antagelse i den viste form er, at nytten angående til- og frabringer transportmidler er mere præcist beskrevet end nytten for hovedtransportmidlet. Dette er måske ikke åbenlyst i enhver situation, men placeringen af de enkelte niveauer er som tidligere nævnt en følge af estimationsprocessen.

Således er niveauerne byttet om i formuleringen af modal split modellen for Lyngby – Brønshøj eksemplet i figur 5. I dette eksempel er det ikke relevant at benytte en opdeling efter hovedtransportmiddel, da det ikke umiddelbart er muligt at udpege et hovedtransportmiddel for hver tur. I stedet er det valgt at opstille en model opdelt efter antal skift.

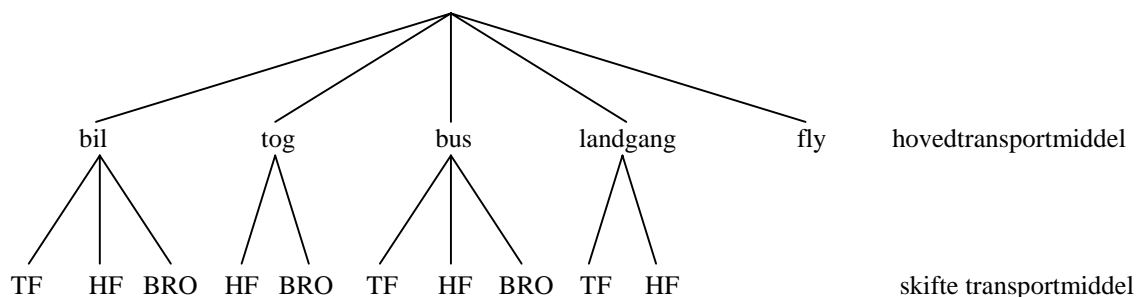


Figur 5 Eksempel på modal split model for Lyngby – Brønshøj, Hbus står for hurtigbus, mens 1S og 2S står for henholdsvis 1 skift og 2 skift.

Rutevalgsmodellerne skal for denne modeltype udover valg af rute også indeholde valg af skift. Dette kan ske i et multimodalt trafiknet som i den rene rutevalgsmodel ovenfor. Her kræver det blot en række restriktioner, så fordelingen på de forskellige kombinationer af transportmidler passer med resultaterne fra modal split modellen. Da det ikke er ligetil at opstille sådanne restriktioner i en rutevalgsmodel kan rutevalget i stedet ske ved opstilling af en række forskellige rutevalgsmodeller, der bygger på forskellige net, så hver model svarer til én kombination af transportmidler. Hver af disse rutevalgsmodeller svarer til den rene rutevalgsmodel i det forrige afsnit. Dette er tilgangsvinklen i Fernandez et al. (1994). Så længe antallet af kombinationer er begrænset er dette en overskuelig opgave, men med et voksende antal kombinationer kan det blive en krævende opgave at tilpasse net og rutevalgsmodeller svarende til den aktuelle kombination af transportmidler. For de to modeller i figur 4 og figur 5 kræver det opstilling og løsning af henholdsvis 16 og 9 rutevalgsmodeller.

Fordelen ved denne formulering frem for den rene rutevalgsmodel er, at det er muligt at tage højde for de forskellige forhold vedrørende transportmidler og adgang til disse. Desuden er det muligt at inddrage særlige forhold ved skift mellem forskellige transportmidler.

I gennemgangen af modellerne er København – Ringsted og Lyngby – Brønshøj eksemplerne brugt til illustration. Et andet eksempel på en model af denne type er trafikmodellen for Storebælt. Her indgår kombinationen af transportmidler i en model til beskrivelse af brug af bro kontra færger.



Figur 6 Persontrafikmodel for Storebælt, Møller m.fl. (1999) TF er kort for traditionel færge og HF er kort for hurtig færge.

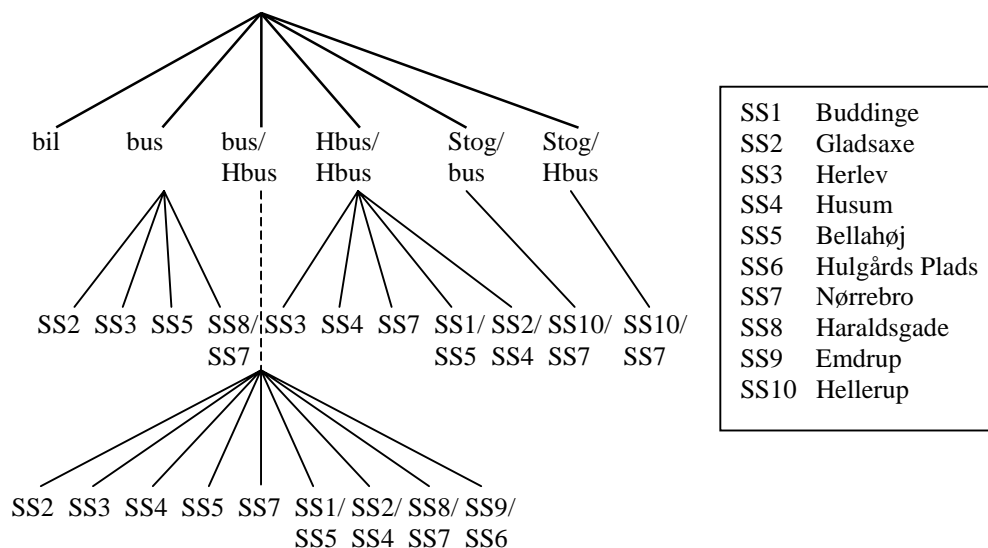
Formålet med modellen for Storebælt er at beskrive trafikanters valg mellem en ny bro og de forskellige færges. Med den opstillede model er det vurderet at trafikanter vælger mellem typer af overførsler altså mellem bro og to færgetyper. Derimod overlades det til en rutevalgsmodel at afgøre trafikanternes valg mellem overførselssteder i de tilfælde, hvor det ikke er en følge af modal split modellen. Eksempelvis er det rutevalgsmodellen, der afgør fordelingen af trafikanter mellem Kalundborg – Århus og Odden – Ebeltoft, der konkurrerede på daværende tidspunkt.

Kombineret model – skift i modal split model

I det indledende eksempel på valg mellem bil, cykel og bus som tilbringer til tog blev det beskrevet, hvordan forskellige forhold på stationen kan føre til forskellige valg af tilbringer transportmiddel. I eksemplet blev det nævnt, at valg af bil eller cykel som tilbringer er mere sandsynligt, hvis der er sikre parkeringsforhold på stationen. Disse aspekter er meget besværlige at modellere i modeller af den type, der blev præsenteret i figur 4 og 5. Eksemplet kan derimod modelleres indenfor en modal split model som den formuleres i denne modeltype, hvor skiftet modelleres som en del af modal split modellen.

I forhold til den foregående modeltype udvides modal split modellen altså med endnu et valg. Tilføjelsen af endnu et valg resulterer ligesom i den rene modal split model i flere alternativer med en del ligheder, hvorfor man bør være påpasselig med formuleringen af alternativer og niveauer i en hierarkisk model. I figur 7 ses det således, at de samme skiftsteder optræder for forskellige kombinationer af transportmidler. For ikke at skabe problemer i estimationen af modellen er det således nødvendigt med en god beskrivelse af valget af skiftested. Resultatet af en estimationsproces kan også tænkes at vise, at niveauerne i hierarkiet bør byttes om, så skiftstederne optræder på det højeste niveau, mens transportmidlerne optræder på det laveste niveau. Om det er modellen i figur 7 eller den netop beskrevne model, der svarer til et givet sæt af data afgøres af de estimerede parametre.

En simpel måde at tilføje endnu et valg til modal split modellen er at føje endnu et niveau til hierarkiet i de hidtil præsenterede modeller. Dette er dog ikke tilfældet i figur 7, som er en viderebygning af figur 5. Her er antal skift i figur 5 erstattet med de konkrete skiftsteder i figur 7. På denne måde er antallet af alternativer på det nederste niveau steget fra 9 til 21.



Figur 7 Eksempel på modal split model for Lyngby – Brønshøj, SS står for skiftested.

Af figur 7 ses det, at selv med det begrænsede problem for Lyngby – Brønshøj med ét sæt af origin og destination, 4 transportmidler, 10 skiftsteder samt stærkt begrænsede kombinationsmuligheder er der

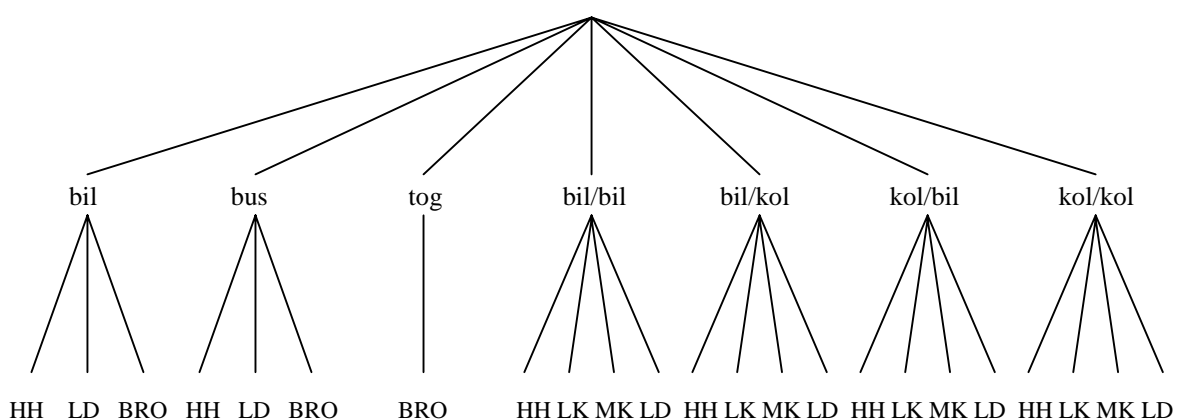
21 alternativer på det nederste niveau i hierarkiet. Hvis en sådan model anvendes på et større eksempel bliver hierarkiet hurtigt uoverskueligt.

En mulighed for at begrænse størrelsen af modal split modellen og samtidig have mulighed for at modellere sammenhængene mellem valg af transportmiddel og skiftested som de blev beskrevet i det indledende eksempel er at erstatte skiftsteder i modellen med skiftetyper. I det ovenstående eksempel vil det således være relevant at definere en række skiftetyper alt efter parkeringsforhold ved de pågældende stationer. For det nævnte eksempel vil det kun være relevant at vælge mellem forskellige skiftetyper og knap så meget, hvilken station, der præcis vælges. Fordelen ved denne formulering er, at antallet af alternativer reduceres væsentligt for større eksempler. Ved at reducere modal split modellen til et valg mellem skiftetyper vil antallet af alternativer i figur 7 kunne reduceres tilsvarende. Storebæltsmodellen fra det forrige afsnit kan fortolkes som en sådan model, hvis broen og de to færgetyper fortolkes som skiftetyper snarere end transportmidler.

Fordelen ved den mere komplicerede modal split model sammenlignet med den forrige modeltype er dels en bedre beskrivelse af valgene dels en meget simpel rutevalgsmodel. Den sidste fordel for kun fuld effekt, hvis skiftene modelleres enkeltvis og ikke som typer. I det sidste tilfælde svarer rutevalgsmodellen til den der blev beskrevet i det foregående afsnit.

Med en modal split model som den i figur 7 reduceres rutevalget til separate rutevalg for de enkelte dele af turkæden og således kun for et transportmiddel af gangen. For det givne eksempel er rutevalget reduceret til eksempelvis valg mellem hurtigbusser mellem Lyngby og SS7 (Nørrebro). I eksemplet findes kun én buslinie af denne type nemlig linie 171E. Rutevalget er i dette tilfælde overflødigt. I et andet tilfælde er det f.eks. begrænset til valg mellem tre forskellige S-togs linier. På denne måde er rutevalget reduceret til små overskuelige problemer, der enten kan løses direkte eller ved brug af eksisterende rutevalgsmodeller for ture med ét transportmiddel.

Det ses dog med modeller af denne type, at rutevalget fuldstændig udelades. Dette er tilfældet i modellen for Øresund. Her er formålet ligesom i modellen for Storebælt at beskrive valget bro og færger. For modellen for Øresund er det valgt at repræsentere hver enkelt færgeoverfart som et alternativ. På denne måde er det muligt både at inddrage trafikanternes holdninger til typen af overførsel (bro eller færge) samt til placering af overførslen (Helsingør – Helsingborg osv.).



Figur 8 Modal split model for Øresund, Øresundskonsortiet (1999).

hvor de forskellige forkortelser betegner de forskellige færgeoverfarter

HH Helsingør – Helsingborg
LD Limhamn – Dragør
LK Landskrona – København
MK Malmø – København

Med den konkrete formulering i figur 8 er det underliggende antaget, at fejlleddet ε_{skift} kan antages at være lig 0. Det antages således, at fællestræk ved hver enkelt færgeoverfart er beskrevet fuldstændigt i den deterministiske nytte. En alternativ formulering af modellen kan være at bytte om på de to niveauer. I denne formulering antages det i stedet, at fællestræk for hver kombination af transportmidler er fuldstændigt beskrevet af den deterministiske nytte. Der kan være tilsnigelser i begge antagelser, men én af dem er nødvendig indtil løsningsmetoderne til eksempelvis cross-nested logit modellerne har nået et mere tilfredsstillende niveau.

Til sammenligning med modellen for Storebælt indeholder modellen for Øresund udover broen samtlige overfarter og ikke kun typer af overfarter. På denne måde er trafikanternes holdninger til forskellige placeringer af overfarter også inddraget i modelleringen. Havde denne modeltype været brugt til modellen for Storebælt ville trafikanternes holdning til eksempelvis valg mellem de på det tidspunkt eksisterende Kalundborg – Århus og Odden – Ebeltoft været inddraget i modellen.

Konklusion

Selvom det er 20 år siden LeClercq som en af de første beskrev turkæderne og nogle af de problemstillinger, der er knyttet til formuleringen af turkæder, er brugen af turkæder i trafikmodeller ikke kommet meget videre. Dette skyldes på den ene side, at modellerne repræsenterer en mere detaljeret modellering og dermed stiller større krav til data rådighed og på den anden side, at man først indenfor de seneste år har fået redskaberne til at løse modeller, der er i stand til at håndtere turkæder.

Da kendskabet til de faktiske valg i turkæder stadig er begrænsede er der i herværende paper gennemgået en række forskellige modeltyper for valg af turkæder, hvor hver modeltype er karakteriseret ved forskellige underliggende antagelser vedrørende valg af turkæde. Af samme årsag er det valgt at opbygge modellerne indenfor rammerne af kendte modeller for valg af transportmiddel og rute. I forbindelse med hver enkelt modeltype er det beskrevet, hvilke problemstillinger den konkrete modeltype er i stand til at løse, ligesom de beskrevne modeltyper er illustreret ved hjælp af eksempler. I dette paper har det kun været muligt at præsentere enkelte af de modeller, der er opstillet i forbindelse med arbejdet med turkæder i Brems (1999).

Brugen af de to 'rene' modeltyper bør anses for at være begrænsede til meget få tilfælde. For den ene type bliver antallet af alternativer hurtigt for stort og for den anden type er det ikke i tilstrækkelig grad muligt at modellere egenskaber og begrænsninger ved de forskellige alternativer til at gøre modellen anvendelig til modellering af turkæder. Tilbage er de to 'kombinerede' modeltyper, hvor eneste forskel er principperne for modellering af skift. Disse to modeltyper svarer til de modeller, der er opbygget for henholdsvis Storebælt og Øresund.

Hele emnet vedrørende turkæder er dog så ubeskrevet, at der fortsat er plads til undersøgelser af, hvordan trafikanter vælger turkæder samt hvilke variable, der er signifikante i disse valg. På baggrund af sådanne undersøgelser må det forventes at være muligt at reducere antallet af nødvendige modeltyper men specielt antallet af modelvariationer indenfor hver modeltype.

Litteratur

Ben-Akiva, M. & Lerman, S. (1994)

"Discrete Choice Analysis, Theory and Application to Travel Demand"
Sixth printing, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Boile, M., Spasovic, L. & Bladikas, A. (1995)

"Modelling Intermodal Auto-Rail Commuter Networks"
Transportation Research Record, No. 1516, pp. 38-47.

Brems, C. & Kronbak, J. (1996)

"Multimodale trafiknet i GIS"
Rapport 1996-4, Institut for Planlægning, DTU.

Brems, C. (1999)

"Transport Modelling with a Focus on Public Transport"
Ph.d.-afhandling, Institut for Planlægning, DTU.

Daly, A., Rohr, C. & Jovicic, G. (1998)

"Application of Models based on Stated and Revealed Preference Data for Forecasting Passenger Traffic between East and West Denmark"
Conference in Antwerp.

Fan, K., Miller, E. & Badoe, D. (1993)

"Modelling Rail Access Mode and Station Choice"
Transportation Research Record, No. 1413, pp. 49-59.

Fernandez, E., De Cea, J., Florian, M. & Cabrera, E. (1994)

"Network Equilibrium Models with Combined Modes"
Transportation Science, Vol. 28, No. 3, pp. 182-192.

LeClercq, F. (1979)

"A Model for Multimodal Trips"
In 'New Developments in Modelling Travel Demand and Urban Systems', pp. 93-115.

Møller, L., Wätjen, W., Pedersen, K. & Daly, A. (1999)

"Trafikken på Storebælt"
Dansk Vejtidskrift 1/99, pp. 19-24.

Pedersen, K. (1998)

"The Øresund Traffic Model – An introduction"
Trafikdage på Aalborg Universitet '98.

Sheffi, Y. (1985)

"Urban Transport Networks - Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods"
Prewntice-Hall, New Jersie.

Øresundskonsortiet (1999)

"Traffic Forecast Model – The Fixed Link across Øresund"

Bilag

Til illustration af de forskellige modeller, har der været brugt to eksempler, der er præsenteret i detaljer i Brems (1999). I det følgende gives en kort gennemgang af eksemplerne, så anvendelsen af dem er forståelig.

Lyngby – Brønshøj

Det første eksempel dækker ture fra Lyngby station til Brønshøj Torv. Eksemplet er oprindelig udviklet til illustration af rutevalgsmønstre for kollektiv trafik. Derfor indeholder eksemplet hovedsageligt kollektive transportmidler. I det ovenstående er der yderligere tilføjet bil som et alternativ. Eksemplet er formuleret så til- og frabringer trafik til de to stop udelades. Der optræder således ikke turkæder, der kombinerer individuelle og kollektive transportmidler, de steder eksemplet benyttes til illustration.

Eksemplet er begrænset til at indeholde linier med forskellige kollektive transportmidler, der med rimelighed kan benyttes til ture mellem Lyngby station og Brønshøj Torv. Således er ikke effektive strækninger samt ture med mere end to skift udeladt af eksemplet. I forhold til tidligere præsentationer af eksemplet blevet opdateret til vinterkøreplanen 98/99, hvorfra køreplanen mellem 14 og 15 benyttes. Med de ovenstående begrænsninger er det altid nødvendigt med skift indenfor den kollektive del af eksemplet. Denne del indeholder 10 skiftmuligheder og i alt 72 forskellige ture når der skelnes mellem forskellige skift og linier.

Da eksemplet er konstrueret som et eksempel for rutevalg er der ikke tilknyttet nogle interviews til beskrivelse af trafikanters valg mellem alternativer. Det har heller ikke indenfor rimelighedens grænser været muligt at tælle passagerer på de forskellige linier i eksemplet. Derfor er det ikke muligt at estimere modal split modeller for eksemplet, hvorfor de opstillede modeller alene er af skitse-mæssig karakter.

København – Ringsted

Det andet eksempel bygger på Banestyrelsens København – Ringsted projekt vedrørende udbygningen af den pågældende strækning. Dette eksempel indeholder således en række interviews for valg af transportmiddel. Til den model Banestyrelsen udvikler benyttes data fra flere forskellige kilder. De data, der er benyttet i forbindelse med Brems (1999) udgør kun en lille del af de samlede data. De benyttede data beskriver hovedsageligt de regionale ture, hvor hovedvægten har været på regional og delvist på bil, mens andre typer af ture og transportmidler er nedtonet.

Data er indsamlet så transportmidlerne opdeles i et hovedtransportmiddel og to til- og frabringer transportmidler. Bil, bus, S-tog og tog er mulige hovedtransportmidler mens gang og cykel også er mulige til- og frabringer transportmidler udover de allerede nævnte transportmidler.

I forbindelse med interviewene er der stillet spørgsmål vedrørende til- og frabringer transportmidler samt antallet af skift og skiftstederne for hovedtransportmidlet for en konkret tur. Da hovedsigtet med dataindsamlingen ikke har været turkæder optræder ingen af disse elementer i de spil, der er lavet på baggrund af de konkrete ture. Derfor er antallet af observationer til brug for de opstillede modeller meget begrænset, og det har således kun været muligt at estimere relativt simple modeller. Disse estimationsresultater er præsenteret i Brems (1999).